

4.3. ВТОРОЙ ЗАКОН НЬЮТОНА. СИЛА. МАССА. ИМПУЛЬС.

Сила

Мерой взаимодействия тел или частиц, из которых состоят тела, является **сила**.

В современной физике различают следующие типы взаимодействия:

- а) **гравитационное**, возникающее между телами за счёт всемирного тяготения;
- б) **электромагнитное**, возникающее между неподвижными или движущимися заряженными частицами или телами;

Модель: Гравитационный

в) сильное, или ядерное, характеризующее взаимодействие элементарных частиц, например тех, которые входят в состав атомного ядра;

г) слабое взаимодействие, имеющее своим результатом распад некоторых элементарных частиц.

В механике рассматриваются силы, возникающие при непосредственном контакте тел (силы трения, силы упругости), или на расстоянии. В последнем случае говорят о наличии особого вида материи – поля.

Результатом взаимодействия тел является либо деформация, т. е. изменение размеров или формы тела (статическое проявление сил), либо ускорение, т. е. изменение величины или направления скорости (динамическое проявление сил). Конечно, не исключено, что одновременно могут возникнуть и деформация и ускорение.

В каждый момент времени ***сила характеризуется числовым значением, направлением и точкой приложения.***

Сила – это векторная величина, являющаяся мерой механического воздействия на тело со стороны других тел или полей, в результате которого тело приобретает ускорение или изменяет свою форму и размеры.

Масса

Во втором законе Ньютона (который мы рассмотрим ниже) используется понятие массы. Сам Ньютон использовал термин «масса» как синоним «количеству вещества». Это интуитивное представление о массе тела не вполне корректно, так как понятие «количество вещества» само не вполне определено. Выражаясь точнее можно сказать, что *масса является мерой инертности тела.*

Чтобы ввести понятие массы, нужно определить для неё эталон и единицу измерения. В системе СИ единицей массы является килограмм (кг). Действующий эталон массы представляет собой цилиндр из платиноиридиевого сплава, хранящийся в Международном бюро мер и весов вблизи Парижа (г. Севр); по определению масса этого цилиндра точно равна одному килограмму. При изучении атомов и молекул часто применяется атомная единица массы (а.е.м.). По определению масса атома углерода (^{12}C) точно равна 12 а.е.м. На сегодняшний день наилучшее измеренное значение а. е. м. равно

$$1 \text{ а.е.м.} = (1,66056550 \pm 0,0000086) \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

или округлённо

$$1 \text{ а.е.м.} = 1,6606 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

Имея единицу массы можно построить шкалу масс (т.е. определить массу в 2 кг, 3 кг и т.д.) двояким образом. *Первый метод*, в общем, соответствует определению массы по Ньютону как «количества вещества». Он основан на использовании рычажных весов. Любая неизвестная масса может быть измерена уравниванием её комбинацией известных масс. В основе этого метода лежит тот факт, что равновесие чашек рычажных весов с одинаковыми плечами имеет место, когда сила тяжести на обе взвешиваемые массы действует одинаково. Поэтому **масса**, определяемая таким способом, **часто именуется гравитационной массой**.

Второй метод определения шкалы массы основан на понятии инертности и втором законе Ньютона. **Масса**, определяемая таким способом, называется **инертной массой**.

***Масса тела** – физическая величина, являющаяся одной из основных характеристик материи, определяющая её инерционные (инертная масса) и гравитационные (гравитационная масса) свойства.*

В настоящее время можно считать доказанным, что инертная масса равна гравитационной (с точностью не меньшей 10^{-12} их значения).

В классической механике **массе** приписывают следующие свойства:

а) **масса — инвариантна**

(не зависит от движения);

В классической механике **массе** приписывают следующие свойства:

б) **масса аддитивна** (масса системы тел равна сумме масс каждого из них);

В классической механике **массе** приписывают следующие свойства:

в) выполняется, сформулированный М. В. Ломоносовым,

закон сохранения массы - в замкнутой системе её масса остаётся неизменной при любых протекающих в ней процессах.

Нередко путают понятия **массы** и **веса**, между которыми имеется существенное различие.

Масса – это свойство самого тела (она является мерой инертности тела или его «количества движения»).

Вес – это сила, с которой тело действует на опору или растягивает подвес (вес численно равен силе тяжести, если опора или подвес не имеют ускорения).

Второй закон Ньютона – основной закон динамики поступательного движения – отвечает на вопрос, как изменится механическое движение материальной точки (тела) под действием приложенных к ней сил.

Если рассмотреть действие различных сил на одно и то же тело, то оказывается, что ускорение, приобретаемое телом, всегда прямо пропорционально равнодействующей приложенных сил:

$$\vec{a} \sim \vec{F} \quad (m = \text{const}!!!) \quad (4.1)$$

При действии одной и той же силы на тело с разными массами их ускорения оказываются различными, а именно

$$a \sim 1/m \quad (\vec{F} = \text{const}!!!) \quad (4.2)$$

Используя выражения (4.1) и (4.2) и учитывая, что сила и ускорение – величины векторные, можем записать

$$\vec{a} = k \frac{\vec{F}}{m} \quad (4.3)$$

Соотношение (4.3) выражает **второй закон Ньютона**: ускорение, приобретаемое материальной точкой (телом), пропорционально вызывающей его силе, совпадает с ней по направлению и обратно пропорционально массе материальной точки (тела).

В СИ коэффициент пропорциональности $k = 1$. Тогда

$$\vec{a} = \vec{F}/m \quad \text{или} \quad \vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (4.4)$$

$$\vec{F} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) \quad (4.5)$$

$$\text{Векторная величина } \vec{p} = m\vec{v}, \quad (4.6)$$

численно равная произведению массы материальной точки на её скорость и имеющая направление скорости, называется **импульсом материальной точки**.

Подставляя (4.6) в (4.5), получим

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (4.7,а) \quad \text{или} \quad \vec{F}dt = d\vec{p} \quad (4.7,б)$$

Это выражение – более **общая формулировка второго закона Ньютона**: скорость изменения импульса материальной точки равна действующей на неё силе (4.7, а) или импульс силы равен импульсу тела. Выражение (4.7) называется **уравнением движения материальной точки**.

Единица силы в СИ – **НЬЮТОН (Н)**:

1Н – сила, которая массе 1кг сообщает ускорение 1м/с^2 в направлении действия силы:

$$1\text{Н} = 1\text{кг}\cdot\text{м/с}^2$$

!!!Второй закон Ньютона справедлив только в инерциальных системах отсчёта**!!!** Первый закон Ньютона можно получить из второго. Действительно, в случае равенства нулю равнодействующей сил (при отсутствии воздействия на тело со стороны других тел) ускорения (см. (4.3)) также равно нулю. Однако первый закон Ньютона рассматривается как самостоятельный закон (а не как следствие второго закона), так как именно он утверждает существование инерциальных систем отсчёта, в которых только и выполняется уравнение (4.7).

В механике большое значение имеет **принцип независимости действия сил**: если на материальную точку действует одновременно несколько сил, то каждая из этих сил сообщает материальной точке ускорение согласно второму закону Ньютона, как будто других сил не было. Согласно этому принципу, силы и ускорения можно разложить на составляющие, использование которых приводит к существенному упрощению решения задач.

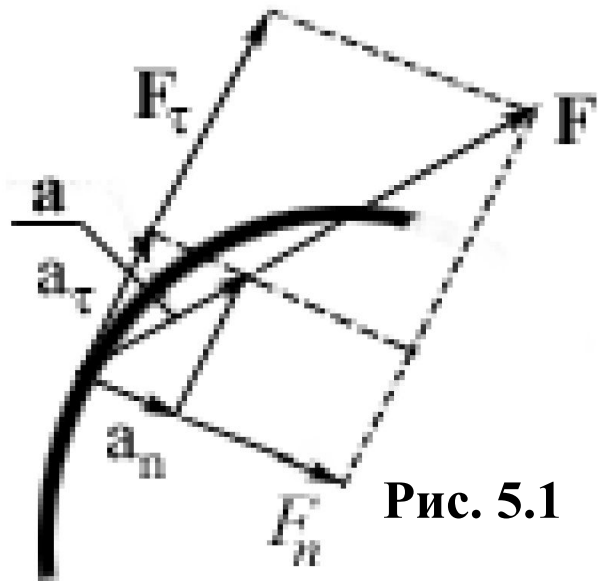


Рис. 5.1

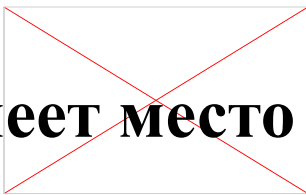
Например, на рис. 5.1 действующая сила $\vec{F} = m\vec{a}$ разложена на две составляющие: тангенциальную силу \vec{F}_τ (направлена по касательной к траектории) и \vec{F}_n нормальную силу (направлена по нормали к центру кривизны).

Используя выражения $a_{\tau} = dv/dt$ и $a_n = v^2/R$, можно записать:

$$F_{\tau} = ma_{\tau} = m \frac{dv}{dt} \qquad F_n = ma_n = mv^2/R$$

Если на материальную точку действует одновременно несколько сил, то, согласно принципу независимости действия сил, под \vec{F} во втором законе Ньютона понимают результирующую силу:

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i$$



Здесь имеет место геометрическое суммирование.

4.4. ТРЕТИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

Второй закон Ньютона количественно описывает то, как силы влияют на движение. Но возникает естественный вопрос о том, откуда появляются силы. Наблюдения наводят на мысль, что **сила, приложенная к любому телу, возникает в результате воздействия другого тела.** Лошадь тянет повозку, человек толкает тележку с продуктами, молоток бьёт по гвоздю, магнит притягивает железную иглу. В каждом из этих случаев одно тело (например, молоток) действует на другое (например, гвоздь) с определённой силой и второе тело испытывает воздействие этой силы. Однако, Ньютон осознал, что ситуация не может быть столь односторонней.

Действительно, хотя молоток действует на гвоздь, гвоздь в свою очередь тоже действует на молоток, потому что скорость молотка при контакте с гвоздём быстро уменьшается до нуля. Только весьма значительная сила может вызвать такое быстрое торможение. Поэтому Ньютон пришёл к выводу, что оба тела надо рассматривать на общих основаниях. Молоток действует на гвоздь, но и гвоздь в ответ тоже действует на молоток: всякое действие материальных точек (тел) друг на друга носит характер взаимодействия. В этом и состоит **третий закон Ньютона**: всякий раз, когда одно тело действует на другое с некоторой силой, со стороны второго тела на первое действует сила противодействия, равная по величине и противоположная по направлению силе действия.

Чтобы убедиться в справедливости третьего закона Ньютона, нажмите на край стола ладонью. Вы увидите, что край стола оставил вмятину на вашей ладони – явное свидетельство того, что она испытала действие силы. Вы можете даже почувствовать действие стола на вашу ладонь – Вам будет больно. Чем сильнее Вы давите на стол, тем сильнее стол давит на Вашу ладонь.

При использовании третьего закона Ньютона очень важно различать, к какому телу приложена данная сила и со стороны какого тела она действует. **Основной вывод состоит в том, что сила влияет на характер движения только тогда, когда она приложена именно к этому телу. Сила, с которой данное тело действует на другое, не влияет на движение этого первого тела.**

Она влияет только на другое тело, а именно на то, к которому она приложена. Поэтому во избежание недоразумений важно всегда точно указать оба объекта: действующий с силой и испытывающий это действие.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

Третий закон Ньютона позволяет осуществить переход от динамики **отдельной** материальной точки к динамике **системы** материальных точек. Это следует из того, что и **!!!***для системы материальных точек взаимодействие сводится к силам парного взаимодействия между материальными точками!!!*

Из третьего закона Ньютона вытекают два важных следствия:

1) Если есть силовое поле, то должно существовать тело его создающее, т.е. если на тело действует сила, то должно быть другое тело, на которое действует такая же сила по величине и обратная по направлению. Это положение лежит в основе многих геофизических методов разведки. А именно, если есть аномалия силового поля, то её причиной является некое геологическое тело, свойства которого (гравитационные, магнитные или электрические) отличаются от вмещающих пород.

2) Внутренние силы системы не могут изменить её движения, так как они попарно равны и противоположны, а их сумма равна нулю.